

RESPONS TANAMAN KEDELAI, KACANG TANAH, DAN KACANG HIJAU TERHADAP CEKAMAN SALINITAS

Afandi Kristiono, Runik Dyah Purwaningrahayu, dan Abdullah Taufiq¹⁾

ABSTRAK

Respons tanaman kedelai, kacang tanah, dan kacang hijau terhadap cekaman salinitas. Salinitas yang tinggi merupakan salah satu cekaman lingkungan yang mengakibatkan tanaman mengalami cekaman osmotik, ketidak-seimbangan hara, toksisitas ion tertentu, dan cekaman oksidatif. Cekaman tersebut mempengaruhi hampir semua proses fisiologis dan biokimia serta tahap pertumbuhan tanaman. Fase perkecambahan dan pertumbuhan semai adalah fase kritis terhadap cekaman salinitas bagi sebagian besar tanaman, termasuk kedelai (*Glycine max* L. Merr.), kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) dan kacang hijau (*Vigna radiata* L. Wilczek), sehingga ketahanan tanaman terhadap cekaman salinitas dapat dievaluasi pada fase-fase tersebut. Toleransi tanaman legum terhadap cekaman salinitas beragam antar-spesies maupun varietas. Batas kritis tingkat salinitas berdasarkan penurunan hasil pada tanaman kedelai, kacang tanah, dan kacang hijau berturut-turut adalah 5 dS/m, 3,2 dS/m, dan 1–2,65 dS/m. Pemahaman pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan tanaman sangat berguna untuk menentukan strategi pengelolaannya. Informasi mengenai mekanisme toleransi tanaman terhadap salinitas dari aspek morfologis, fisiologis, maupun biokimia tanaman sangat diperlukan dalam mengembangkan kultivar yang toleran. Penggunaan kultivar toleran merupakan salah satu upaya mengatasi masalah salinitas yang praktis dan ekonomis.

Kata kunci: salinitas, kedelai *Glycine max*, kacang tanah, *Arachis hypogaea*, kacang hijau, *Vigna radiata*

ABSTRACT

Respons of soybean, groundnut, and mungbean crops to salinity stress. High salinity is one of the environmental stresses that could expose crops to osmotic stress, nutrient imbalances, toxicity of certain ion, and oxidative stress. These stress affects almost all physiological and biochemical processes and development stages of crop growth. Seed

germination and seedling growth stages are critical phases of the salinity stress for most crops, including soybean (*Glycine max* L. Merr.), groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek), so the plant resistance to salinity stress can be evaluated in these phases. Legume crops tolerance to salinity stress vary among species and variety. Critical level of salinity based on yield reduction for soybean, groundnut, and mungbean is 5dS/m, 3.2dS/m, and 1 to 2.65 dS/m, consecutively. Understanding of the effect of salinity on plant growth is very useful to determine the management strategy. Information on the tolerance mechanism of plant to salinity on morphological, physiological, and biochemical aspects is useful to develop a salinity-tolerant cultivar. The use of tolerant cultivar to address salinity problems is practically and economically sound.

Keywords: salinity, soybean, *Glycine max*, groundnut, *Arachis hypogaea*, mungbean, *Vigna radiata*

PENDAHULUAN

Salinitas menunjukkan kadar garam terlarut dalam air maupun tanah. Garam yang terlarut biasanya didominasi kation kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), natrium (Na^+), anion karbonat ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$), sulfat (SO_4^{2-}), dan khlor (Cl^-) (Cardon *et al.* 2007). Kandungan ion Na dan Cl umumnya dominan, sedangkan ion yang lain beragam (Anonim 2011). Satuan yang digunakan beragam seperti ppt (*part per thousand*), PSU (*practical salinity unit* = g/kg). Satuan internasional (SI) untuk salinitas adalah siemens per metre (S/m) pada suhu 25 °C. Namun yang umum digunakan adalah dS/m (desi siemens/m; 1 dS/m = 1 mmhos/cm = 640 ppm atau mg/kg = 1000 $\mu\text{S/cm}$) (SA Water 2007).

Sekitar 20% dari seluruh lahan pertanian dunia dan 50% lahan beririgasi dipengaruhi oleh salinitas, dan bahkan setiap tahun beberapa ratus ribu hektar lahan irigasi ditinggalkan karena salinisasi (Zhu 2001; FAO 2005). Salinitas telah menjadi masalah utama dalam pengelolaan lahan pertanian di berbagai negara (Rengasamy 2006) dan diperkirakan akan menjadi masalah paling serius di bidang pertanian sehubungan dengan perubahan iklim dunia (Lopez *et al.* 2002).

¹⁾ Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Jl. Raya Kendalpayak km 7, Kotak Pos 66 Malang 65101 Indonesia Telp. 0341-801468, Faks. 0341-801496, email: andy_bioma98@yahoo.com

Naskah diterima tanggal 4-6-2013, disetujui untuk diterbitkan tanggal 26-9-2013.

Diterbitkan di Buletin Palawija No. 26-2013: 45–60.

Degradasi lahan pertanian akibat salinisasi telah menjadi salah satu isu nasional (Las *et al.* 2006), namun demikian pemetaan lahan salin di Indonesia belum banyak dilakukan, tetapi sudah banyak diidentifikasi lahan-lahan pertanian yang salin. Tsunami di Aceh tahun 2004 meningkatkan salinitas lahan (DHL 2-40 dS/m) yang merusak lebih dari 120.000 ha lahan pertanian (Rachman *et al.* 2008). Pada beberapa sentra kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) di India, masalah salinitas semakin meningkat (Mungala *et al.* 2008). Sebanyak 14,6% dari 7.000 ha lahan sawah di Indramayu salinitasnya tergolong sedang hingga tinggi (Marwanto *et al.* 2009), lahan sawah di pesisir pantai Indramayu hingga jarak 5 km dari pantai salinitasnya tinggi hingga sangat tinggi (Erfandi dan Rachman 2011). Air di sungai Cikijing yang mengairi 1.200 ha sawah mengandung Na 583 mg/liter dan menyebabkan penurunan hasil padi (Suganda *et al.* 2009). Intrusi air laut di beberapa wilayah di Indonesia, terutama daerah dekat pantai di Pulau Jawa, dalam 20 tahun mendatang akan meningkat akibat meningkatnya permukaan air laut serta eksploitasi air tanah yang berlebihan (Putra dan Indradewa 2011).

Salinitas lahan yang tinggi menyebabkan menurunnya tingkat kesesuaian lahan bagi komoditas pertanian. Pemahaman pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan tanaman sangat berguna untuk menentukan langkah pengelolaannya. Mekanisme toleransi tanaman terhadap salinitas juga perlu difahami dari aspek morfologis, fisiologis, maupun biokimia tanaman sebagai langkah strategis dalam mengembangkan kultivar yang toleran.

Penyebab Salinitas

Salinisasi tanah dapat terjadi di hampir semua wilayah iklim mulai dari daerah tropis yang lembab sampai daerah kutub. Tanah salin dapat ditemukan di berbagai ketinggian mulai ketinggian di bawah permukaan laut (misal tanah di sekitar laut mati) sampai daerah pegunungan diatas 5000 meter seperti Dataran Tinggi Tibet atau Pegunungan Rocky (Singh dan Chatrath 2001). Semua tanah mengandung garam, juga semua air irigasi baik dari sungai maupun air tanah yang dipompa mengandung beberapa macam garam terlarut. Beberapa jenis garam (nitrat, potasium) merupakan unsur hara penting bagi tanaman.

Salinitas merupakan proses alami yang terkait erat dengan bentang alam dan proses pembentukan tanah. Garam dalam tanah dapat berasal dari pelapukan bahan induk yang mengandung deposit garam (El-Swaify 2000), intrusi air laut atau gerakan air tanah yang direklamasi dari dasar laut (Tan 2000), pupuk anorganik dan organik, serta dari air irigasi (Kotuby-Amacher *et al.* 2000). Kondisi iklim dengan curah hujan rendah, tingkat evaporasi yang tinggi, dan pengelolaan pengairan yang buruk dapat menimbulkan masalah salinitas (Sposito 2008; Lambers 2003; Gama *et al.* 2007). Penggunaan air tanah untuk irigasi secara terus menerus menyebabkan akumulasi garam pada lahan pertanian (Tan 2000; Munns *et al.* 2004; Zhu 2007; Sonon *et al.* 2012). Unsur Ca, Mg, dan Na yang terkandung dalam air irigasi akan mengendap dalam bentuk karbonat seiring dengan terjadinya penguapan (Serrano *et al.* 1999). Drainase tanah yang buruk menyebabkan evaporasi lebih besar daripada perkolasi sehingga akan mempercepat proses salinisasi.

Parameter Salinitas

Salinitas menunjukkan kadar garam terlarut dalam air maupun tanah. Konsentrasi garam tersebut dapat ditentukan dengan banyak cara dan dinyatakan dalam beragam satuan.

Total Dissolved Solid (TDS) merupakan suatu cara mengukur jumlah senyawa organik dan anorganik dalam suatu larutan baik dalam bentuk ion maupun molekul. Metode ini ditentukan dengan menguapkan sampel air sampai kering dan menimbang garam yang tersisa. Nilai pengukuran biasanya dalam satuan ppm meskipun sekarang lebih sering menggunakan satuan mg/L.

Air tanah yang digunakan untuk irigasi biasanya mempunyai nilai TDS lebih tinggi dari air sungai di daerah yang sama. Nilai TDS terendah umumnya 200–300 mg/L sedangkan pada air sumur 2000–3000 mg/L. Konsentrasi garam yang lebih tinggi disebabkan penyerapan air secara selektif oleh tanaman di daerah resapan air tanah dan pelarutan mineral dalam tanah dan batu ketika air mengalir (McNeal 1982).

Metode lain untuk mengukur jumlah total garam terlarut adalah daya hantar listrik (DHL). Metode ini sekarang lebih disukai karena hasil pengukuran TDS sering kurang akurat. Penen-

tuan nilai DHL dilakukan dengan menempatkan dua elektroda ke dalam sampel air, dan mengukur perbedaan potensial listriknya. Jika konsentrasi garam meningkat maka kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik juga meningkat. Hasil pengukuran merupakan konversi tahanan listrik menjadi konduktansi listrik yang diukur pada suhu standar 25 °C. Satuan pengukuran biasanya mS/cm yang sama dengan mmho/cm (Ferro 2008). Daya hantar listrik dipengaruhi suhu dan standar suhu yang digunakan adalah 25 °C, sehingga pengukuran yang dilakukan selain pada suhu tersebut harus dikoreksi ke dalam suhu tersebut. Tanah salin memiliki EC dari ekstrak pasta jenuh >4 dS/m atau setara 40 mmol garam per liter. Pengukuran Klorida (Cl) dan pH biasanya dilakukan bersamaan dengan pengukuran DHL untuk mendapatkan informasi tambahan yang memudahkan interpretasi data hasil pengukuran.

U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) membuat suatu perkiraan kesetaraan nilai TDS dan DHL yaitu $TDS \text{ (mg/L)} \gg 640 \times EC \text{ (mmho/cm)}$. Air irigasi biasanya mempunyai nilai TDS 0,15–1,5 mmho/cm atau setara 96–960 mg/L. Konversi lain yang dapat kita gunakan untuk mengetahui jumlah total kation atau anion dalam air adalah kation atau anion (meq/L) $\gg 10 \times EC \text{ (mmho/cm)}$.

Pemisahan larutan tanah dari sampel tanah biasanya cukup sulit dilakukan karena jumlah air yang diekstrak biasanya tidak cukup untuk dilakukan analisis kimia. Oleh karena itu ditambahkan air dalam volume tertentu pada sampel tanah sebelum proses ekstrak larutan tanah dilakukan. Proses ekstraksi dapat dilakukan setelah mencampur sampel tanah dengan berat tertentu dengan air yang sudah diketahui volumenya. Beberapa rasio tanah:air digunakan untuk memprediksi salinitas tanah yaitu 1:5, 1: 2,5, dan 1:1 (El-Swaify 2000).

Pengukuran Daya Hantar Listrik tidak dapat menentukan jenis garam, tetapi hanya mengetahui daya hantar listrik yang menunjukkan tingkat salinitas larutan. Perbandingan natrium dengan ion garam lain sering digunakan dalam tes salinitas melalui pengukuran SAR dan ESP. SAR menggambarkan proporsi natrium (Na) terhadap kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam larutan tanah dan dinyatakan dalam satuan mili ekuivalen per liter (meq / L). Tanah yang memiliki nilai SAR>13 disebut tanah sodik. Sedangkan ESP adalah persentase

perbandingan Na teradsorpsi pada partikel tanah terhadap Kapasitas Tukar Kation. Tanah sodik memiliki $ESP > 15$ (US Salinity Staf Lab. 1954). ESP hanya digunakan untuk mengukur sodisitas pada tanah, sedangkan SAR dapat digunakan pada tanah dan larutan tanah atau air irigasi (Seelig 2000; Horneck *et al.* 2007).

Tekanan osmotik merupakan parameter lain yang sering digunakan untuk menilai kualitas air. Hal itu terkait fakta respons tanaman terhadap salinitas adalah ekspresi sifat osmotik yang berhubungan erat dengan tekanan osmotik. Tekanan osmotik disebabkan oleh adanya garam yang sebagian besar terurai menjadi ion-ion sehingga menghasilkan tekanan osmotik yang besar. Hubungan nilai kesetaraan tekanan osmotik dengan DHL adalah Tekanan Osmotik (atm) = $0,36 \times EC \text{ (mS/L)}$. Nilai ini juga berlaku untuk tekanan osmotik yang dinyatakan dalam satuan bar (1 atm = 1,013 bar).

RAGAM CEKAMAN AKIBAT SALINITAS

Salinitas menyebabkan cekaman terhadap tanaman yang mencakup cekaman osmotik, ketidak-seimbangan hara, toksisitas ion, dan cekaman oksidatif.

Cekaman osmotik

Konsentrasi garam di dalam tanah yang tinggi, terutama garam dari Natrium (Na⁺) dan Klor (Cl⁻), merusak struktur tanah, meningkatkan tekanan osmotik sehingga penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman terganggu (Kurban *et al.* 1998; Cicek dan Cakirlar 2002; Bohnert 2007; Anonim 2011). Penyerapan unsur Na yang berlebihan menyebabkan penurunan penyerapan air dan kalium (FAO 2005). Kalium (K) berperan penting untuk mempertahankan turgor sel dan aktivitas enzim (Xiong dan Zhu 2001).

Cekaman osmotik akibat meningkatnya salinitas disebabkan potensial air meningkat sehingga mengurangi penyerapan air yang menyebabkan penurunan kandungan air relatif daun (Kabir *et al.* 2004), yang selanjutnya menyebabkan dehidrasi sel (Ondrasek *et al.* 2009). Potensial air pada kapasitas lapang adalah -0,033 MPa. Peningkatan konsentrasi garam terlarut menurunkan potensial air dari -1 MPa sampai -2,5 MPa (mega pascal) bahkan dapat mencapai -5 Mpa (Flower dan Flower 2005). Bila tekanan osmotik di rhizosfer melebihi te-

Tabel 1. Klasifikasi salinitas tanah.

Kelas	EC (mmhos/cm)	SAR	pH tanah	ESP
Normal	<4,0	<13		<15
Salin	>4,0	<13	<8,5	<15
Sodik	<4,0	>13	>8,5	>15
Salin – Sodik	>4,0	>13	<8,5	>15

Sumber: US Salinity Staf Lab. 1954; EC = Electrical Conductivity; SAR = Sodium Adsorption Ratio; ESP =exchangeable sodium percentage.

Tabel 2. Klasifikasi salinitas air

Klasifikasi salinitas air	EC (dS/m) ¹⁾	TDS(g/l) ²⁾
Non salin	< 0,7	<0,5
Agak salin	0,7–2,0	0,5–1,5
Salinitas sedang	2,0–10,0	1,5–7,0
Salinitas tinggi	10,0–20,5	7,0–15,0
Salinitas sangat tinggi	20,0–45,0	15,0–35,0
Brine	>45,0	>35,0

Sumber: Rhoades *et al.* (1992); ¹⁾ EC = Electrical Conductivity; ²⁾ TDS = Total dissolved solids.

kanan osmotik dalam sel akar akan menghambat penyerapan air dan hara sehingga tanaman akan layu dan mati karena kekurangan air.

Kekurangan air akibat cekaman garam menyebabkan gangguan pada proses fotosintesis. Laju fotosintesis sangat rendah pada tanaman yang mengalami cekaman salinitas (Ashraf dan Harris 2004; Parida dan Das 2005). Konsentrasi CO₂ pada kloroplas menurun karena berkurangnya konduktansi stomata (Gama *et al.* 2007).

Toksisitas Ion Spesifik

Salah satu penyebab menurunnya pertumbuhan tanaman dalam kondisi cekaman salinitas adalah penyerapan Na⁺ dan Cl⁻ diatas tingkat optimal, yang biasa disebut toksisitas ion spesifik (Chinnusamy *et al.* 2005). Natrium (Na) merupakan unsur nonesensial tetapi sangat dibutuhkan, sedangkan khlor (Cl) adalah hara mikro penting, kedua ion tersebut akan terakumulasi terutama pada daun bersifat toksik pada konsentrasi berlebihan (Dogar 2012). Kedua ion tersebut juga berkompetisi dengan ion-ion unsur hara K⁺, NO₃⁻, H₂PO₄⁻ pada situs pengikatan sel dan transport protein dalam sel akar (Grattan dan Grieve 1999; Tester dan Davenport 2003; White dan Broadley 2001).

Konsentrasi Na⁺ yang tinggi dalam larutan tanah menekan aktivitas ion hara dan menyebabkan nisbah Na⁺/Ca²⁺ atau Na⁺/K⁺ yang ekstrim (Grattan dan Grieve 1999).

Ketidak-seimbangan Hara

Cekaman salinitas menyebabkan ketidakseimbangan hara (Rogers *et al.* 2003; Hu dan Schmidhalter 2005). Kandungan Na pada daun meningkat, unsur K juga meningkat tetapi Na ditransfer ke jaringan dalam jumlah lebih besar daripada K (Hirpara *et al.* 2005). Meningkatnya konsentrasi Na⁺ dalam tanah menurunkan kandungan K⁺ dan Ca²⁺ jaringan tanaman (Hu dan Schmidhalter 2005; Asch *et al.* 2000). Rendahnya penyerapan Ca²⁺ oleh tanaman dapat mengganggu aktivitas dan integritas membran sel serta mendorong akumulasi Na⁺ dalam jaringan tanaman. Rendahnya nisbah Ca²⁺/Na⁺ akibat tingginya ion Na menghambat pertumbuhan dan menyebabkan perubahan morfologi dan anatomi tanaman (Cakmak 2005). Penurunan konsentrasi kalium (K) dalam jaringan tanaman mungkin disebabkan oleh antagonisme penyerapan Na dan K pada akar sehingga menghambat penyerapan K, terhambatnya transport K dalam xylem. Kalium berperan penting sebagai katalisator berbagai enzim. Berkurangnya K menyebabkan aktivitas enzim seperti nitrat reduktase yang mengubah

NO_3 menjadi NH_3 (penyusun protein) akan menurun (Hu dan Schmidhalter 2005). Konsentrasi Mg^{2+} mengalami penurunan pada kondisi salin (Hu dan Schmidhalter 1997).

Salinitas menurunkan kandungan N dan P pada semua jaringan (Hirpara *et al.* 2005). Penurunan penyerapan N disebabkan interaksi antara Na^+ dengan NH_4^+ dan Cl^- dengan NO_3^- (Lea-Cox dan Syvertsen 1993; Rozeff 1995). Penurunan N tanaman akibat salinitas ini juga dilaporkan oleh Pessarakli dan Tucker (1988) dan Feigin *et al.* (1991).

Cekaman Oksidatif

Cekaman oksidatif merupakan cekaman biotik dan abiotik yang terjadi karena ketidakseimbangan produksi *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) dan antioksidan. ROS umumnya dianggap sebagai molekul berbahaya dan konsentrasinya harus dipertahankan serendah mungkin dalam sel. ROS dihasilkan secara alami di beberapa jalur metabolisme seluler (Becana *et al.* 2000), seperti fotorespirasi dan fotosintesis (Noctor *et al.* 2000), senesensi dan oksidasi asam lemak (Vitoria *et al.* 2001). ROS umumnya dihasilkan dari eksitasi O_2 untuk membentuk singlet oksigen ($^1\text{O}_2$) atau transfer satu, dua atau tiga elektron ke O_2 untuk membentuk radikal superoksida (O_2^-), hidrogen peroksida (H_2O_2) atau radikal hidroksil (OH^-) (Gratao *et al.* 2005). ROS pada sel tanaman terutama adalah hidrogen peroksida, anion superoksida, dan radikal hidroksil, yang dihasilkan di sitosol, kloroplas, mitokondria, dan ruang apoplas (Bowler dan Fluhr 2000; Mittler 2002). Jumlah O_2^- , H_2O_2 , dan radikal OH menentukan tingkat cekaman oksidatif sel (Foyer dan Noctor 2003).

Pada kondisi normal, oksigen aktif mempunyai fungsi yang positif, misalnya O_2^- (radikal superoksida) dan H_2O_2 (hidrogen peroksida) dibutuhkan dalam proses lignifikasi, dan berfungsi sebagai sinyal respons pertahanan terhadap infeksi patogen (Gratao *et al.* 2005). ROS juga berperan penting sebagai molekul sinyal transduksi yang terlibat dalam mediasi respons tanaman terhadap infeksi patogen, cekaman lingkungan, program kematian sel dan perkembangan stimuli (Mittler *et al.* 2004; Torres dan Dangl 2005). Cekaman salinitas mengganggu metabolisme dan aktivitas seluler seperti pembelahan sel, pemanjangan sel, fotosintesis, sintesis protein, metabolisme lipid, dan energi (Zeng dan Shannon 2000; Parida dan Das 2005; Jaleel *et al.* 2007), menyebabkan efek osmotik

dan ionik (Yang *et al.* 2007), mengganggu penyerapan hara dan ketidak-seimbangan hormon (Asraf dan Foolad 2007).

Cekaman salinitas menyebabkan akumulasi ROS yang berlebihan pada sel (Meloni *et al.* 2003). Produksi ROS berlebihan pada kondisi cekaman garam disebabkan oleh terganggunya proses transport elektron dalam kloroplas dan mitokondria serta fotorespirasi (Choi *et al.* 2002). Penutupan stomata pada kondisi cekaman garam mengurangi rasio CO_2/O_2 daun dan menghambat fiksasi CO_2 , yang berakibat pada meningkatnya konsentrasi spesies ROS seperti radikal superoksida (O_2^-), hidrogen peroksida (H_2O_2), radikal hidroksil (OH^-) dan *oxygen singlet* ($^1\text{O}_2$) (Lee *et al.* 2001; Gratao *et al.* 2005).

Akumulasi ROS yang berlebihan berakibat pada kerusakan komponen sel dan menimbulkan gangguan metabolisme tanaman (Meloni *et al.* 2003). Molekul ROS juga merupakan mediator kerusakan struktur sel karena menyerang banyak komponen seluler meliputi membran dan makromolekul esensial seperti pigmen fotosintesis, protein, asam nukleat dan lipid (Lin dan Kao 2000; Menezes-Benavente *et al.* 2004; Valko *et al.* 2006). Kelebihan ROS menyebabkan reaksi fitotoksik seperti peroksidasi lipid, degradasi protein, inaktivasi enzim dan mutasi DNA (McCord 2000; Wang *et al.* 2003; Vinocur and Altman 2005; Pitzschke *et al.* 2006). Peroksidasi lipid oleh ROS dianggap sebagai mekanisme penting kerusakan membran (Foyer dan Noctor 2003). Mutasi DNA akibat ROS terjadi karena radikal hidroksil bereaksi dengan seluruh komponen molekul DNA dan merusak basa purin, pirimidin, dan rantai deoksiribosa (Halliwell dan Gutteridge 1999), terjadi perubahan pola ekspresi gen (Fabre dan Planchon 2000; Maggio *et al.* 2002).

RESPONS DAN TOLERANSI TANAMAN TERHADAP SALINITAS

Salinitas mempengaruhi hampir semua aspek fisiologis dan biokimia tanaman sehingga menurunkan pertumbuhan dan hasil (Darwish *et al.* 2009). Meskipun demikian, tingkat toleransi dan laju penurunan pertumbuhan pada konsentrasi letal bervariasi antarspesies tanaman (Rabie dan Almadini 2005). Penyebab kerusakan tanaman pada tanah salin terutama adalah akibat pengaruh ion Na (Tester dan Davenport 2003). Pertumbuhan dan hasil tanaman budidaya umumnya mengalami penurunan pada EC tanah 4 dS/m atau lebih, bahkan

tanaman yang sensitif dapat terpengaruh pada EC 3 dS/m (McWilliams 2003).

Cekaman salinitas pada legum juga berhubungan dengan meningkatnya tingkat peroksidase (Munns *et al.* 2006; Munns dan Tester 2008). Pada lingkungan salin tanaman mengakumulasi lisin, prolin, asperagin, glutamine, asam aspartat, asam glutamat, alanin, tirosin dan valin. Peningkatan konsentrasi asam amino dikarboksilat dan amida tersebut menunjukkan gangguan sintesis protein karena terjadi penggunaan nitrogen yang tidak lengkap ketika masuk ke akar (Munns 2002).

Kacang Hijau

Pengaruh salinitas selama fase perkecambahan menyebabkan terhambatnya perkecambahan (Ahmed *et al.* 2005; Mensah dan Ihenyen 2009), benih gagal berkecambah akibat terhambatnya imbibisi air ke biji (Naher dan Alam 2010), meningkatkan kecambah tidak normal (Kandil *et al.* 2012). Salinitas pada tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L. Wilczek) juga menyebabkan penurunan jumlah dan bobot polong basah (Elahi *et al.* 2004), ketidakseimbangan ion dan konsentrasi hara (Ashraf dan Foolad 2007), penurunan tinggi tanaman, jumlah polong, bobot 1000 biji, dan indeks panen (Hossain *et al.* 2008), bobot tajuk, akar dan biji (Mensah dan Ihenyen 2009), pertumbuhan dan parameter fotosintetik (Hayat *et al.* 2010). Salinitas menyebabkan efek osmotik (Ashraf 2009), menghambat pemasakan polong, dan menyebabkan biji keriput (Ahmed 2009).

Peningkatan salinitas menurunkan nodulasi pada akar. Peningkatan konsentrasi NaCl dari 0 menjadi 0,3% menurunkan jumlah dan berat basah bintil akar (Nosheen *et al.* 2004). Jumlah bintil turun 36 dan 54% pada DHL 1,26 dan 1,80 dS/m, dan pada 2,41 dS/m tidak mampu membentuk bintil akar (Elahi *et al.* 2004).

Kacang hijau peka terhadap salinitas, namun demikian toleransinya beragam antar genotipe, seperti genotipe kacang hijau di Pakistan (Elahi *et al.* 2004; Hossain *et al.* 2008; Ahmed 2009; Naher dan Alam 2010), di Mesir (Mohammed dan El-Kramany 2005; Kandil *et al.* 2012), di Myanmar (Win *et al.* 2011), di Nigeria (Mensah dan Ihenyen 2009), dan di Indonesia (Taufiq dan Purwaningrahyu 2012).

Varietas NM-51 dari Pakistan terhambat pertumbuhannya dan tidak berpolong pada konsentrasi NaCl 0,3% atau DHL 2,41 dS/m (Elahi *et al.* 2004). Varietas T-44 toleran hingga

konsentrasi 200 mM NaCl (Misra dan Dwivedi 2004; Misra dan Gupta 2005). Varietas King toleran hingga konsentrasi 4000 ppm NaCl (Mohamed dan El-Kramany 2005). Genotipe 241/11 tidak mampu berpolong pada DHL 12 dS/m (Ahmed 2009). Pertumbuhan dan parameter fotosintetik kacang hijau turun pada konsentrasi garam 100 mM NaCl (Hayat *et al.* 2010). Salinitas 3,89 dS/m menurunkan tinggi tanaman, jumlah polong, bobot 1000 biji, dan indeks panen pada genotipe yang peka, sedangkan pada genotipe toleran terjadi pada DHL 7,82 dS/m (Hossain *et al.* 2008). Salinitas setara 300–400 mM NaCl menghambat perkecambahan, menurunkan bobot tajuk, akar dan biji (Mensah dan Ihenyen 2009). Taufiq dan Purwaningrahyu (2012) melaporkan bahwa varietas Kutilang, Sampeong, Perikutut, Merpati, dan Walet toleran pada DHL 1,79-2,65 dS/m, Murai, Kenari, Sriti, dan Betet toleran pada DHL 2,87-5,68 dS/m, dan Vima 1 toleran pada DHL 6,40-12,49 dS/m. Hasil kacang hijau turun 10% pada DHL 1,0 dS/m (Evans 2006), turun 48% pada DHL 3 dS/m (Mohammed dan El-Kramany, 2005), turun 10–50% pada DHL 1,5–3,3 dS/m (Cardon *et al.* 2012).

Batas kritis kacang hijau terhadap salinitas yang dilaporkan peneliti beragam. Berdasarkan penurunan hasil 10% adalah 1,0 dS/m (Evans 2006), 1,8 dS/m (Yadav *et al.* 2011), 2,65 dS/m (Taufiq dan Purwaningrahyu 2012), 1,5-3,3 dS/m (Cardon *et al.* 2012).

Toleransi kacang hijau terhadap salinitas berhubungan dengan proses fisiologis dalam tanaman. Hasil-hasil penelitian menyebutkan bahwa tingkat toleransi kacang hijau terhadap salinitas berhubungan dengan permeabilitas membran dan tekanan osmotik sel (Kurban *et al.* 1998), kemampuannya untuk mengakumulasi K (Chughtai *et al.* 2003; Misra dan Dwivedi 2004; Misra dan Gupta 2005; Hossain *et al.* 2008), kemampuannya menghambat translokasi Na dari akar ke tajuk (Murillo-Amador *et al.* 2006), kemampuannya mengakumulasi air dalam daun, prolin dan glisin betain, dan menghambat degradasi klorofil (Chughtai *et al.* 2003; Misra dan Dwivedi 2004; Misra dan Gupta 2005; Dar *et al.* 2007; Hossain *et al.* 2008). Toleransi pada kacang hijau juga berhubungan dengan reaksi enzimatis dalam sel. Meningkatnya konsentrasi garam dari 50 menjadi 200 mM NaCl meningkatkan aktivitas katalase 2,4 kali dan peroksidase 2,8 kali (antioksidatif enzim) (Dar *et al.* 2007).

Kedelai

Perkecambahan dan pertumbuhan kecambah kedelai (*Glycine max* L. Merr.) nyata turun pada salinitas tanah 11 dS/m (Wang dan Shanon 1999), pertumbuhan kecambah kedelai turun 5% pada konsentrasi NaCl 220 mM (Hosseini *et al.* 2002). Biji kedelai tidak mampu berkecambah pada salinitas tanah >7 dS/m (Mindari *et al.* 2009). Bobot basah kecambah turun 32, 54 and 76% pada salinitas berturut-turut 50, 100 and 200 mM (Amirjani 2010). Pada percobaan lapang, kedelai sulit berkecambah pada salinitas 5 dS/m (Amin 2011).

Peningkatan salinitas pada tanaman kedelai menurunkan tinggi tanaman, total biomas, dan hasil, daun cepat mengalami kerontokan dini (*senescence*). Penurunan biomas di atas tanah lebih tinggi daripada akar. Indeks kandungan klorofil daun turun pada peningkatan salinitas dari 3 menjadi 6 dan 9 dS/m (Ghassemi-Golezani *et al.* 2011), dari 5 dS/m menjadi 10 dS/m (Wanga *et al.* 2001), pada konsentrasi 70 mM dan 140 mM NaCl (Hamayun *et al.* 2010). Pada salinitas 4 dS/m biomas akar turun 50%, dan pada salinitas 8 dS/m lebih dari 50% daun akan senesen pada stadia polong (Bustingorri dan Lavado 2011). Panjang tanaman kedelai turun pada konsentrasi 70 mM dan 140 mM NaCl (Hamayun *et al.* 2010), turun 30, 47 and 76% pada salinitas berturut-turut 50, 100 and 200 mM (Amirjani 2010).

Peningkatan salinitas dari 5 dS/m menjadi 10 dS/m menurunkan penyerapan radiasi fotosintesis aktif (PAR) turun 20%, dan efisiensi radiasi turun 40% (Wanga *et al.* 2001). Peningkatan salinitas dari 0,8 dS/m menjadi 4,2 dS/m menurunkan hasil 12%, dan turun 46% pada 7,0 dS/m (van Horn *et al.* 2001). Hasil kedelai tidak mengalami penurunan pada salinitas 5 dS/m, tetapi pada 6,2, 7,5, dan 10 dS/m turun berturut-turut 25%, 50%, dan 100% (Mindari *et al.* 2009). Pada konsentrasi 70 mM dan 140 mM NaCl terjadi penurunan jumlah polong, bobot 100 biji dan hasil kedelai (Hamayun *et al.* 2010). Pada salinitas 4 dS/m hasil kedelai turun 80% (Bustingorri dan Lavado 2011).

Peningkatan salinitas menurunkan respirasi aerobik sehingga simbiosis, inisiasi dan perkembangan bintil akar terganggu karena kerusakan rambut akar (Duzan *et al.* 2004). Pembentukan bintil akar dan fiksasi N turun pada salinitas 27 mM NaCl (Quifu dan Murray 1993). Total serapan N turun 11% pada peningkatan salinitas dari 0,8 dS/m menjadi 4,2 dS/m, dan

turun 44,7% pada 7,0 dS/m (van Horn *et al.* 2001). Efisiensi pengikatan nitrogen, jumlah dan biomas bintil akar turun pada kondisi salin (Mudgal 2004). Penurunan efisiensi pengikatan nitrogen disebabkan oleh penurunan kandungan leghemoglobin dalam bintil akar, aktivitas nitrat reduktase (Ab-delbaki *et al.* 2000; Flores *et al.* 2000; Duzan *et al.* 2004). Aktivitas Nitrogenase turun 60% dan kandungan ammonium meningkat 100% pada 200 mM NaCl (Amirjani 2010).

Pada konsentrasi 70 mM and 140 mM NaCl kandungan Gibberellins (GA) dan asam salisilat (SA) bebas turun, tetapi asam absisat (ABA), dan asam jasmonat (JA) meningkat (Hamayun *et al.* 2010). Aktivitas Enzim antioksidan katalase dan peroksidase turun pada 100 dan 200 mM, akumulasi prolin, diamine oksidase, dan kandungan Na^+ meningkat sedangkan K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} turun pada peningkatan konsentrasi dari 50 menjadi 200 mM NaCl (Amirjani 2010). Na lebih banyak terakumulasi pada vakuola dibandingkan pada sitoplasma dan apoplas akar sehingga menghambat distribusi Na ke tajuk tanaman, dan kerusakan pada tajuk lebih disebabkan akumulasi Cl, dan Cl diakumulasi dalam vakuola pada konsentrasi Ca meningkat sehingga menghindari kerusakan (Dabuxilatu dan Ikeda 2005).

Varietas unggul kedelai mempunyai tingkat toleransi yang beragam terhadap salinitas, tergantung parameter dan pembandingan yang digunakan. Berdasarkan penurunan bobot kering tanaman dan kandungan N tanaman pada salinitas 50 dan 100 mM NaCl, kedelai tergolong toleran dibandingkan kacang tunggak, kacang hijau, dan faba-bean (Delgado *et al.* 1994). Berdasarkan salinitas ECe 0,8 hingga 7,0 dS/m, kedelai termasuk mempunyai sensitivitas sedang dibandingkan jagung, tomat, dan kentang (Katerji *et al.* 2000). Pada pengujian hingga salinitas NaCl 70 mM ($\pm 6,4$ dS/m) varietas Wilis, Malabar dan Sindoro lebih toleran dibandingkan Lokon dan Tidar (Yuniati 2004). Hasil biji varietas Wilis, Slamet, Sindoro, Orba turun >77% pada salinitas 0,2% NaCl dan tidak menghasilkan biji pada 0,4% NaCl (Sunarto 2001). Berdasarkan vigor benih pada konsentrasi NaCl hingga 50 mM ($\pm 4,6$ dS/m), varietas Orba tergolong toleran, Sinabung semi-toleran, dan Kawi tidak toleran (Farid 2006). Berdasarkan inisiasi tunas, varietas Wilis toleran hingga konsentrasi NaCl 8 g/L ($\pm 12,5$ dS/m), varietas Kipas Putih, Jaya Wijaya, Tidar toleran hingga konsentrasi NaCl 6 g/L ($\pm 9,4$ dS/m), dan varietas Lokon

toleran hingga konsentrasi NaCl 2 g/L ($\pm 3,1$ dS/m) (Lubis 2000). Varietas kedelai yang toleran mampu bertahan hingga salinitas 8,5 dS/m, mengandung Na lebih rendah dan K tinggi sehingga nisbah K/Na tinggi (Essa 2002).

Batas kritis kedelai berdasarkan penurunan hasil adalah 5 dS/m (Yadav *et al.* 2011). Berdasarkan penurunan hasil 10%, nilai kritis salinitas untuk kedelai adalah 1,3 dS/m (Evans 2006).

Kacang Tanah

Peningkatan salinitas menurunkan bobot kering tanaman, jumlah polong, jumlah biji/polong, ukuran biji, kandungan klorofil daun. Hasil kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) turun pada salinitas $> 3,2$ mmhos/cm. Kandungan klorofil daun meningkat, tetapi bobot kering akar dan tajuk umur 2 bulan serta kandungan Na, N, P, K, Ca, Mg tidak beda hingga 5000 ppm (Hajar *et al.* 1993). Penurunan hasil 25%, 50% dan 100% terjadi berturut-turut pada salinitas 4,1, 4,9 dan 6,5 mmhos/cm, penurunan terutama karena jumlah dan ukuran polong turun (Mungala *et al.* 2008). Kandungan prolin dan asam amino bebas meningkat, penurunan kandungan klorofil total lebih rendah pada varietas yang toleran pada peningkatan salinitas dari 7,5 dS/m menjadi 9,2 dan 12,5 dS/m (Hammad *et al.* 2010).

Pada percobaan pot dengan konsentrasi NaCl dari 0, 1000, 3000, 5000, 7000 ppm perkecambahan kacang tanah tidak banyak terpengaruh (Hajar *et al.* 1993). Pada penelitian *invitro* dengan konsentrasi NaCl rendah (1,5%) semua kultivar yang diuji tumbuh baik, tetapi pada konsentrasi 2% biji yang tumbuh menurun dan pada konsentrasi 2,5% (cekaman tinggi) terjadi penurunan biji yang tumbuh 10% (batas seleksi) (Mungala *et al.* 2008). Batas kritis kacang tanah berdasarkan penurunan hasil adalah 3,2 dS/m (Yadav *et al.* 2011).

GEJALA KERACUNAN GARAM

Gejala keracunan garam akibat salinitas ditandai oleh pertumbuhan tanaman kerdil, ukuran daun kecil dengan warna daun lebih hijau dari warna normalnya (Wanga *et al.* 2001; McWilliams 2003). Cekaman salinitas menyebabkan daun cepat gugur (Grover *et al.* 2001; Tester dan Davenport 2003). Pada kondisi yang parah daun menjadi kuning (klorosis), tepi daun mengering (FAO 2005), ujung akar berwarna coklat, dan pertumbuhan sistem perakaran ter-

hambat (Stoeva dan Miroslava 2008), pada daun tua mengalami nekrosis yang dimulai dari ujung daun akibat akumulasi Na^+ (Queiroz *et al.* 2012).

Tanaman yang mengalami cekaman salinitas kadang-kadang tidak menunjukkan respons dalam bentuk kerusakan langsung tetapi pertumbuhannya terhambat (Subagyono 2008). Pengaruh salinitas juga dapat memunculkan gejala kekurangan hara mikro karena pH tinggi (Zhu *et al.* 2004), gejala kekurangan P karena menurunnya konsentrasi (Qadir dan Schubert 2002).

FASE KRITIS TANAMAN TERHADAP SALINITAS

Salinitas mempengaruhi hampir semua tahap pertumbuhan tanaman yaitu perkecambahan, pertumbuhan semai, vegetatif dan maturasi (Nawaz *et al.* 2010). Sebagian besar tanaman budidaya sangat sensitif terhadap salinitas (Dogar *et al.* 2012).

Pada umumnya fase kritis cekaman salinitas sebagian besar spesies tanaman adalah fase perkecambahan dan pertumbuhan semai (Kitajima dan Fenner 2000; Mudgal 2004; Cuartero *et al.* 2006), sehingga fase tersebut sering digunakan untuk seleksi toleransi terhadap salinitas (Bybordi dan Tabatabaei 2009). Amin (2011) menyimpulkan bahwa stadia berbunga sensitif terhadap salinitas.

Mekanisme Ketahanan terhadap Cekaman Salinitas

Respons tanaman terhadap salinitas bervariasi tergantung tingkat salinitas, lamanya cekaman dan tahap perkembangan. Levit (1980) menggolongkan respons tanaman terhadap ketahanan garam sebagai mekanisme toleransi (*tolerance*) dan mekanisme penghindaran (*avoidance*). Pada umumnya mekanisme tersebut efektif pada tingkat salinitas rendah hingga sedang (Badr dan Shafei 2002). Mekanisme toleransi tanaman terhadap pengaruh salinitas sangat kompleks, mencakup perubahan morfologi, fisiologi maupun proses biokimia (Hilal *et al.* 1998; Munns *et al.* 2006). Mekanisme fisiologi dan biokimia diperlukan untuk menjaga viabilitas protoplasma sel sedangkan mekanisme penghindaran garam melibatkan adaptasi fisiologis struktur tanaman untuk meminimalkan konsentrasi garam dalam sel atau eksklusi secara fisiologis oleh membran akar (Koyro *et al.* 2011).

Kondisi salinitas tinggi akan memicu penutupan stomata (seluruhnya atau sebagian), mengurangi transpirasi/reduksi asimilasi C, menurunkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, mengurangi luas daun dan kandungan klorofil, mempercepat defoliiasi dan kematian daun (Shannon dan Grieve 1999).

Pada dasarnya ketahanan terhadap salinitas dapat dicapai melalui mekanisme *salt excluders* atau *salt includers* (Ashraf *et al.* 2006). Tanaman *salt excluders* mempunyai kemampuan mengeluarkan garam dari jaringan tanaman atau organ tertentu. *Salt excluders* mencegah agar garam tidak sampai ke tajuk dalam konsentrasi yang tinggi. Garam yang diserap dalam jumlah yang tinggi diserap kembali dari jaringan *xylem* kemudian disimpan atau dikeluarkan kembali ke dalam tanah. *Salt excluder* mempunyai kandungan Na^+ dan Cl^- rendah pada jaringan karena selektivitas membran menyebabkan penyerapan K^+ melebihi Na^+ . Sedangkan *salt includers* mampu mengatasi konsentrasi garam tinggi dengan menyimpan sejumlah besar garam ke dalam bagian-bagian tertentu seperti dalam vakuola sel mesofil. Kebanyakan jenis *salt includers* ini adalah tanaman sukulen. Beberapa tanaman juga memiliki kelenjar khusus pada daun yang mampu mengeluarkan garam dalam konsentrasi yang tinggi.

Adaptasi Fisiologis

1. Osmoregulasi

Pada kondisi cekaman garam, tanaman berusaha menjaga tekanan turgor dan penyerapan air untuk mempertahankan potensial air internal di bawah potensial air tanah (Tester dan Davenport 2003). Hal ini membutuhkan peningkatan tekanan osmotik internal, dengan cara penyerapan zat terlarut dalam tanah, dan sintesis senyawa organik terlarut. Untuk menjaga keseimbangan ion dalam vakuola dan agar tidak mempengaruhi reaksi biokimia dalam sel, maka sitoplasma mengakumulasi senyawa yang mempunyai berat molekul rendah (Zhifang dan Loescher 2003). Senyawa organik terlarut seperti asam amino, gula, poliol, betain dan ektoin serta turunan dari beberapa senyawa tersebut bersifat netral (Koyro 2004) sehingga tidak mempengaruhi reaksi biokimia dalam sel. Mekanisme ini dapat bekerja secara bersama-sama walaupun mekanisme yang lebih dominan dapat beragam antarspesies.

2. Kompartementasi

Penyerapan ion dan kompartementasi sangat penting karena cekaman garam mengganggu keseimbangan ion dalam jaringan. Tanaman membatasi kelebihan garam dalam vakuola atau kompartementasi ion pada jaringan yang berbeda untuk menjaga fungsi metabolisme (Zhu 2003). Ada beberapa strategi yang digunakan tanaman untuk menghindari kerusakan sel yaitu dengan menurunkan rasio K^+/Na^+ , mengurangi masuknya Na^+ ke dalam sel, mengeluarkan Na^+ dari sel, atau kompartementasi Na^+ dalam vakuola sehingga tidak mengganggu fungsi sel dan mengurangi toksisitas (Surekha *et al.* 2005).

Senyawa organik terlarut dalam mekanisme kompartementasi memiliki fungsi untuk melindungi struktur sel. Glisin betain melindungi tilakoid dan integritas membran plasma akibat cekaman salin. Senyawa organik terlarut umumnya berupa gula sederhana terutama sukrosa dan glukosa, gula alkohol (gliserol, metal inositol), gula kompleks (trehalosa, rafinosa, fruktan). Senyawa lainnya berupa turunan asam amino kuartir (prolin, glisin betain), amin tersier (1,4,5,6-tetrahidro-2 metil-4-karboksi pirimidin), dan senyawa sulfonium (dimetil sulfonium propironat) (Zhifang dan Loescher 2003). Tanaman yang toleran salinitas tinggi akan mengakumulasi glisin betain dalam konsentrasi tinggi, dan yang sensitif akan mengakumulasi glisin betain dalam tingkat rendah (Rhodes *et al.* 1989). Poliol berfungsi sebagai zat terlarut kompatibel dengan berat molekul rendah dan sebagai pembersih oksigen radikal.

Konsentrasi prolin meningkat seiring meningkatnya salinitas sebagai adaptasi perubahan pola metabolisme. Prolin berperan penting dalam respons tanaman terhadap cekaman garam (Gaspar *et al.* 2002) untuk mengatur potensial osmotik dalam sitoplasma (Arshi *et al.* 2005; Bartel 2005). Menurut Tonon *et al.* (2004) dan Sotiropoulos (2007) pada beberapa spesies tanaman termasuk kedelai yang terpapar cekaman garam terjadi peningkatan kandungan prolin untuk melindungi membran plasma dan protein.

Banyak halofita dan beberapa glikofita telah mengembangkan struktur kelenjar garam dari daun dan batang. Sel tanaman menjadi toleran terhadap konsentrasi garam tinggi dengan mendesak ion-ion beracun dalam vesikel untuk keperluan penyesuaian osmotik tanpa menghambat metabolisme. Daun halofit dan glikofit ber-

kayu merupakan bentuk kompartementasi yang dapat digugurkan untuk mencegah translokasi garam ke dalam jaringan yang lebih sehat.

Adaptasi Morfologi

Bentuk adaptasi morfologi dan anatomi yang dapat diturunkan dan unik dapat ditemukan pada halofit yang mengalami evolusi melalui seleksi alami pada kawasan pantai dan rawa-rawa asin. Salinitas menyebabkan perubahan struktur yang memperbaiki keseimbangan air tanaman sehingga potensial air dalam tanaman dapat mempertahankan turgor dan seluruh proses biokimia untuk pertumbuhan dan aktivitas yang normal. Perubahan struktur mencakup ukuran daun yang lebih kecil, stomata yang lebih kecil per satuan luas daun, peningkatan sukulensi, penebalan kutikula dan lapisan lilin pada permukaan daun, serta lignifikasi akar yang lebih awal (Harjadi dan Yahya 1988).

Menurut Carillo *et al.* (2005) pengurangan laju pertumbuhan daun merupakan suatu bentuk adaptasi cekaman garam karena meningkatnya kadar garam tanah menghambat penyerapan air oleh tanaman dan untuk membatasi transpirasi daun. Ukuran daun yang lebih kecil sangat penting untuk mempertahankan turgor. Sedangkan lignifikasi akar diperlukan untuk penyesuaian osmose yang sangat penting untuk memelihara turgor yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman dan aktivitas normal.

Adaptasi salinitas yang lain ditunjukkan dengan meningkatnya sukulensi untuk mengurangi konsentrasi garam dalam protoplasma. Salinitas klorida umumnya menambah sukulensi pada banyak spesies tanaman. Sukulensi terjadi dengan meningkatnya konsentrasi SO_4 . Dengan adaptasi struktural ini konduksi air akan berkurang dan mungkin akan menurunkan kehilangan air pada transpirasi (Ghoulam *et al.* 2002). Namun pertumbuhan akar yang terekspos pada lingkungan salin biasanya kurang terpengaruh dibandingkan dengan pertumbuhan tajuk atau buah. Laju pertumbuhan akar melebihi bagian tajuk untuk meningkatkan luas area penyerapan air sehingga dapat mencegah dehidrasi (Alshamary *et al.* 2004).

Salinitas menyebabkan perubahan anatomi daun pada sejumlah tanaman. Daun tanaman *bean*, kapas, dan atripleks mengalami pening-

katan ketebalan epidermal, mesofil, panjang sel palisade, diameter palisade dan *spongy cell* dengan meningkatnya salinitas. Sebaliknya ketebalan ruang antar sel menurun secara nyata pada daun tanaman yang mendapat perlakuan NaCl (Parida *et al.* 2004). Pada tanaman tomat, salinitas mengurangi kepadatan stomata (Romero-Aranda *et al.* 2001).

Kaymakanova *et al.* (2008) melakukan penelitian pada tanaman buncis yang diberi perlakuan 100 mM NaCl dan 100 mM Na_2SO_4 pada umur 7 hari setelah tanam. Hasil percobaan tersebut menunjukkan adanya peningkatan frekuensi stomata pada kedua perlakuan garam. Pada perlakuan 100 mM NaCl dan Na_2SO_4 terjadi perubahan anatomi daun yaitu adanya peningkatan frekuensi stomata 42% dibandingkan dengan kontrol. Hal ini dikarenakan berkurangnya sel-sel daun sebagai akibat dari struktur xeromorphic tanaman yang mendapat perlakuan salinitas. Ukuran stomata (panjang dan lebar) juga berkurang. Beberapa peneliti menganggap pengurangan ukuran sel pada kondisi cekaman air merupakan mekanisme adaptasi kekeringan. Berkurangnya ukuran sel tampaknya menjadi respons utama dari sel terhadap defisiensi air disebabkan oleh kekeringan atau cekaman garam. Status air sangat sensitif terhadap salinitas dan karena itu sangat menentukan respons tanaman terhadap stres.

KESIMPULAN

1. Cekaman salinitas merupakan faktor pembatas pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang mempengaruhi hampir semua proses fisiologis dan biokimia serta tahap pertumbuhan tanaman.
2. Respons tanaman terhadap salinitas pada fase kritis dapat digunakan sebagai penanda ketahanan tanaman terhadap cekaman salinitas. Fase kritis cekaman salinitas sebagian besar tanaman adalah fase perkecambahan dan pertumbuhan semai.
3. Respons tanaman legum terhadap cekaman salinitas bervariasi baik antarspesies maupun varietas. Batas kritis berdasarkan penurunan hasil pada tanaman kedelai, kacang tanah, dan kacang hijau berturut-turut adalah 5 dS/m, 3,2 dS/m, dan 1–2,65 dS/m.
4. Penggunaan kultivar yang toleran merupakan salah satu upaya untuk mengatasi masalah salinitas yang praktis dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-El Baki G. K., Siefert F., Man H.-M., Weiner H., Kaldenhoff R., Kaiser W. M. 2000. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. *Plant Cell Environ.* 23:515–521.
- Ahmad, S., A. Wahid, E. Rasul and A. Wahid. 2005. Salt tolerance of green gram genotypes at various growth stages: comparative morphological and physiological responses of green gram genotypes to salinity applied at different growth stages. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46:135–142.
- Ahmed S. 2009. Effect of salinity on the yield and yield component of mungbean. *Pakistan J. Bot.* 41(1):263–268.
- Alshamary, S.F., Y.L. Qian and S. J. Wallner. 2004. Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agr. Water Manag.* 66:97–111.
- Amin M. 2011. Adaptation of Suitable Crops in Saline Soils of Noakhali District. Technical Bull No. 02. Krishi Gobeshona Foundation. Bangladesh. 5 pp
- Amirjani, M.R. 2010. Effect of Salinity Stress on Growth, Mineral Composition, Proline Content, Antioxidant Enzymes of Soybean. *Am. J. of Plant Physiol.* 5:350–360.
- Anonim. 2011. Salinity Management Handbook. Queensland government, department of environment and resource management. Diakses dari <http://www.derm.qld.gov.au/salinity>. tanggal 15 Januari 2013.
- Arshi A., M.Z. Abidin and M. Iqbal. 2005. Ameliorative effect of CaCl_2 on growth, ionic relations and proline content of Senna under salinity stress. *J. Plant Nutr.* 28:101–125.
- Asch F., Dingkuhn M., Dorffling K. and Miezian K. 2000. Leaf K/Na ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. *Euphytica* 113:109–118.
- Ashraf M., P.J.C. Harris. 2004. Potential Biochemical Indicators of Salinity Tolerance in Plants. *J. Plant Sci.* 166:3–16.
- Ashraf, M. and M.R. Foolad. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. *Env Exp Bot.* 59:206–16.
- Ashraf, M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnol. Adv.* 27:84–93.
- Ashraf, M., M. Hameed, M. Arshad, Y. Ashraf and K. Akhtar. 2006. Salt tolerance of some potential forage grasses from Cholistan desert of Pakistan. pp. 31–54. *In*: M.A. Khan and D.J. Weber (eds.). *Ecophysiology of High Salinity Tolerance Plants*. Springer, Netherlands.
- Badr M.A. and A.M. Shafei. 2002. Salt tolerance in two wheat varieties and its relation to potassium nutrition. *Al Azhar J. Agric Res.* 35:115–128.
- Bartels, D. and R. Sunkar. 2005. Drought and Salt Tolerance in Plants. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 24:23–58.
- Becana, M., D.A. Dalton, J.F. Moran, O.I. Iturbe, M.A. Matamoros and M. C. Ribio. 2000. Reactive oxygen species and antioxidants in legume nodules. *Physiol. Plant.* 109:372–381.
- Bohnert H.J. 2007. *Abiotic Stress*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bowler, C. and R. Fluhr. 2000. The role of calcium and activated oxygen as signals for controlling cross-tolerance. *Trends Plant Sci.* 5:241–246.
- Bustingorri, C and R.S. Lavado. 2011. Soybean growth under stable versus peak salinity. *Soil and Plant Nutrition.* 68(1):1–9.
- Bybordi, A. and S.J. Tabatabaei. 2009. Effect of Salinity Stress on Germination and Seedling Properties in Canola Cultivars (*Brassica napus*). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 37(1):71–76.
- Cakmak I. 2005. The Role of Potassium in Alleviating Detrimental Effects of Abiotic Stresses in Plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521–530.
- Cardon G.E., J.G. Davis, T.A. Bauder and R.M. Waskom. 2007. *Managing Saline Soils*. Colorado State University. US. www.ext.colostate.edu/diakses 17 Januari 2013.
- Cardon, G.E., J.G. Davis, T.A. Bauder and R.M. Waskom. 2012. *Managing Saline Soils*. <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops.html>. Diakses tanggal 5 Maret 2013.
- Carillo, P., G. Mastrolonardo, F. Nacca and A. Fuggi. 2005. Nitrate reductase in durum wheat seedlings as affected by nitrate nutrition and salinity. *Funct. Plant Biol.* 32:209–219.
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf and J.K. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45:437–448.
- Choi, D.W., E.M. Rodriguez and T.J. Close. 2002. Barley Cbf3 gene identification, expression pattern and map location. *Plant Physiol.* 129:1781–1787.
- Chughtai, S., M. M. Saleem, M. Hussain and I. Afzal. 2003. Alleviation of salinity stress using bio-power (Bio-fertilizer) in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Int. J. Agri. Biol.* 5(2):191–193.
- Çiçek, N and H. Çakırlar. 2002. The effect of salinity on some physiological Parameters in two maize cultivars. *Bulg. J. Plant Physiol* 28(1–2):66–74.
- Cuartero, J., M.C. Bolarin, M.J. Asins and V. Moreno. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. *J. Exp. Bot.* 57(5):1045–1058.
- Dabuxilatu and M. Ikeda. 2005. Distribution of K, Na and Cl in Root and Leaf Cells of Soybean and Cucumber Plants Grown under Salinity Conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51(7):1053–1057.

- Dar, Z.M., A. Hemantaranjan and S.K. Panday. 2007. Antioxidative response of mungbean (*Vigna radiata* L.) to salt stress. *Legume Res.* 30(1):57–60.
- Darwish, E., C. Testerink, M. Khalil, O. El-Shihy and T. Munnik. 2009. Phospholipid signaling responses in salt-stressed rice leaves. *Plant Cell Physiol.* 50(5):986–997.
- Delgado M.J., Ligerio F., Lluch C. 1994. Effect of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, Faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol. and Biochem.* 26:371–376.
- Dogar U.F., N. Naila, A. Maira, A. Iqra, I. Maryam, H. Khalid, N. Khalid, H.S. Ejaz and H.B. Khizar. 2012. Noxious effects of NaCl salinity on plants. *Botany Res. Inter.* 5 (1):20–23.
- Duzan, H.M., X. Zhou, A. Souleimanov, and D. L. Smith. 2004. Perception of *Bradyrhizobium japonicum* nod factor by soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] root hairs under abiotic stress conditions. *J. Exp. Bot.* 55:2641–2646.
- Elahi, N. N., S. Mustafa and J. I. Mirza. 2004. Growth and nodulation of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) as affected by sodium chloride. *J. Res. Sci. Bahaiddin Zakaria Univ. Multan, Pakistan.* 15(2):139–143.
- El-Swaify, S.A. 2000. Soil and Water Salinity. *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture.* Univ. of Hawaii.
- Erfandi, D. and A. Rachman. 2011. Identification of soil salinity due to seawater intrusion on rice field in the Northern Coast of Indramayu, West Java. *J. Trop. Soils* 16(2):115–121.
- Essa, T.A. 2002. Effect of Salinity Stress on Growth and Nutrient Composition of Three Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Cultivars. *J. of Agron. and Crop Sci.* 188(2):86–93.
- Evans L. 2006. Salinity Tolerance in Irrigated Crops. <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/salinity/crops/tolerance-irrigated>. Diakses tanggal 1 Oktober 2012.
- Fabre, F., C. Planchon, 2000. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. *Plant Sci.* 152:51–58.
- FAO. 2005. Panduan Lapang FAO:20 Hal Untuk Diketahui Tentang Dampak Air Laut Pada Lahan Pertanian di Propinsi NAD. www.fao.org/ag/.../20_things_on_salinity_bahasa.pdf. Diakses 21 Januari 2013.
- Farid, M. 1996. Seleksi Kedelai Tahan Kekeringan dan Salinitas Secara *In Vitro* Dengan NaCl. *J. Agrivigor* 6(1):65–74.
- Feigin A., E. Pressman, P. Imas, and O. Miltau. 1991. Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. *Irri. Sci.* 12:223–230.
- Ferro N., 2008. Irrigation with saline water: prediction of soil Sodication and management. Università degli studi di padova facoltà di scienze mm. ff. nn. E agrarian. Italy. 112 pp.
- Foyer, C.H and G. Noctor. 2003. Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiol. Plant.* 119:355–364.
- Flores P., Botella M. A., Martinez V. and Cedra A. 2000. Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.* 156:552–557.
- Flowers, T.J. and Flowers, S.A. 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agric. Water Manag.* 78:15–24.
- Gama, P.B.S., S. Inagana, K. Tanaka and R. Nakazawa. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *African J. of Biotech.* (2):79–88.
- Gaspar, T., T. Frank, B. Bisbis, C. Kevers, L. Jouve, J. F. Hausman and J. Dommes, 2002. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regul.* 37:263–285.
- Ghassemi-Golezani, K., M. Taifeh-Noori, S. Oustan, M. Moghaddam and S. S. Rahmani. 2011. Physiological Performance of Soybean Cultivars Under Salinity Stress. *J. of Plant Physiol. and Breeding* 1(1):1–7.
- Ghoulam, C., A. Foursy and K. Fares. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 47:39–50.
- Gratao, P.L., A. Polle, P.J. Lea and R.A. Azevedo. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Funct. Plant Biol.* 32:481–494.
- Grattan, S.R. and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hortic.* 78:127–157.
- Grover A., Kapoor A., Lakshmi O.S., Agarwal S., Sahi C., Katiyar-Agarwal S., Agamal M. and Dubey H. 2001. Understanding molecular alphabets of the plant abiotic stress responses. *Curr. Sci.* 80(2):206–216.
- Hajar, A.S., M.M. Heikal, Y.M. Maghrabi and R.A. Abuzinadah. 1993. Responses of peanut to salinity stress. *KAU Sci.* 5:5–13.
- Halliwell B. and J.M.C Gutteridge. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine.* Oxford Univ. Press, Oxford. 936 pp.
- Hamayun, M., S.A. Khan, A.L. Khan, Z.K. Shinwari, J. Hussain, E. Sohn, S.M. Kang, Y.H. Kim, M.A. Khan and I.J. Lee. 2010. Effect of salt stress on growth attributes and endogenous growth hormones of soybean cultivar Hwangkeumkong. *Pak. J. Bot.* 42(5):3103–3112.

- Hammad, S.A.R., Kh. A. Shaban and M.F. Tantawy. 2010. Studies on salinity tolerance of two peanut cultivars in relation to growth, leaf water content. Some chemical aspects and yield. *J. of Applied Scie. Res.* 6(10):1517–1526.
- Harjadi S.S. dan S. Yahya, 1988. *Fisiologi Stres Tanaman*. PAU IPB. Bogor. 236 hlm.
- Hayat, S., S.A. Hasan, M. Yusuf, Q. Hayat and A. Ahmad. 2010. Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. *Environ. and Exp. Botany* (69):105–112.
- Hilal M., A.M. Zenoff, G. Ponessa, H. Moreno, E.D. Massa, 1998. Saline Stress Alters the Temporal Patterns of Xylem Differentiation and Alternative Oxidative Expression in Developing Soybean Roots. *Plant Physiol.* 117:695–701.
- Hirpara, K.D., J.R. Prakash, D.P. Ashish and N.P. Amar. 2005. Effect of salinisation of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Buteamonosperma* (Fabaceae). *Anales de Biol.* 27:3–14.
- Horneck, D.S., J.W. Ellsworth, B.G. Hopkins, D.M. Sullivan and R.G. Stevens. 2007. Managing Salt-Affected Soils for Crop Production. PNW 601-E. Oregon State Univ., Univ. of Idaho, Washington State Univ. 21 pp.
- Hosseini M. K., Alison A.P. and Ian J.B. 2002. Comparison of The Seed Germination And Early Seedling Growth of Soybean in Saline Conditions. *Seed Sci. Res.* 12(3):165–172.
- Hossain, M.M., M.N.A. Miah, M.A. Rahman, M.A. Islam and M.T. Islam. 2008. Effect of salt stress on growth and yield attributes of mungbean. *Bangladesh Res. Pub. J.* 1(4):324–336.
- Hu Y., Schmidhalter U. 1997. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. 2. Composition. *J. Plant Nutr.* 20:1169–1182.
- Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:541–549.
- Jaleel, C.A., G. Manivannan and R. Panneerselvam. 2007. Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L) G. Don. To paclobutrazol treatment under salinity. *Acta Physiol. Plant.* 29:205–209.
- Kabir, M.E., M.A. Karim, and M.A.K. Azad. 2004. Effect of potassium on salinity tolerance of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *J. of Biol. Sci.* 4(2):103–110.
- Kaymakanova, M., S. Nevena and M. Tsvetana. 2008. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. of Central European Agric.* 9(4):749–756.
- Kandil A.A., Arafa A.A., Syarief A.E. and Ramadan A.N. 2012. Genotypic Differences Between Two Mungbean Varieties in Response to Salt Stress at Seedling Stage. *Int. J. of Agric. Sci.* 4:278–283.
- Katerji N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli. 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agric. Water Manag.* 43:99–109.
- KGF. 2011. Adaptation of suitable crops in saline soils of Noakhali District. *Tech. Bull. No. 02.* 5 pp.
- Kitajima, K and M. Fenner. 2000. Ecology of seedling regeneration. pp. 331–359. *In* M. Fenner (ed). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2nd ed. CABI Pub., Wallingford, UK.
- Kotuby-Amacher, J., K. Rich and K. Boyd. 2000. Salinity and plant tolerance. Available at <https://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-SO-03.pdf>.
- Koyro H.W., M.A. Khan and L. Helmuth. 2011. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis? *Emir. J. Food Agric.* 23 (1):01–16.
- Koyro, H.W. and B. Huchzermeyer. 2004. Ecophysiological needs of the potential biomass crop *Spartina townsendii* GROV. *Trop. Ecol.* 45:123–139.
- Kurban, H., H. Saneoka, K. Nehira, R. Adilla and K. Fujita. 1998. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plants *Alhagi pseudoalhagi* and *Vigna radiata*. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44(4):589–597.
- Lambers, H. 2003. Introduction, dry land salinity: a key environ. issue in Southern Australia. *Plant Soil* 257:5–7.
- Las, I., K. Subagyo, dan A.P. Setiyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. *J. Litbang Pertanian* 25(3):106–115.
- Lea-Cox, J.D., and J.P. Syvertsen. 1993. Salinity reduces water use and nitrate-N use efficiency of citrus. *Ann. Bot.* 72:47–54.
- Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, water, radiation, salt and other stresses, second ed., vol. II, Acad. Press, New York. 606 pp.
- Lee D.H., Kim Y.S. and Lee C.B. 2001. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant Physiol.* 158:737–745.
- Lee D.H., Y.S. Kim and C.B. Lee, 2001. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant Physiol.* 158:737–45.
- Lin, C.C. and C.H. Kao, 2000. Effect of NaCl stress on HO metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regul.* 30:1151–1155.
- Lubis K. 2000. Respon Morfogenesis Embrio Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max* L. Merr) pada Berbagai Konsentrasi Nacl Secara *in Vitro*. Universitas Sumatera Utara. 85 hlm.

- Lopez C.M.L., H. Takahashi and S. Yamazaki, 2002. Plant-water relations of kidney bean plants treated with NaCl and foliarly applied glycinebetaine. *J. Crop Sci.* 188:73–80.
- Maggio, A., Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Consiglio, M.F., & Joly, R.J. 2001. Review: Unravelling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance. *Functional Plant Biol.* 28(10):999–1004.
- Marwanto, S., A. Rachman, D. Erfandi, dan I G.M. Subiksa. 2009. Tingkat salinitas tanah pada lahan sawah intensif di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Hlm. 175–190. *Dalam* U. Kurnia, F. Agus, D. Setyorini, dan A. Setiyanto (eds). Pros. Sem. Nas. Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- McCord, J.M. 2000. The evolution of free radicals and oxidative stress. *Am. J. Med.* 108:652–659.
- McWilliams, D. 2003. *Soil Salinity and Sodicity Limits Efficient Plant Growth and Water Use*. New Mexico State University through USDA Cooperative state research. Electronic distribution. Diakses dari www.cahe.nmsu.edu/pubs/_a/A-140.pdf tanggal 30 Oktober 2007.
- McNeal B.L., 1982. Evaluation and Classification of Water Quality for Irrigation. in Yaron D. Salinity in Irrigation and Water Resources. Marcel Dekker. New York. 21–45 pp.
- Meloni, D.A., M.A. Oliva, C.A. Martinez and J. Cambraia, 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 49:69–76.
- Menezes-Benavente, L., S.P. Kernodle, M. Margis-Pinheiro and J. G. Scandalios, 2004. Salt-induced antioxidant metabolism defenses in maize (*Zeamays* L.) seedlings. *Redox Report*, 9:29–36.
- Mensah, J. K. and J. Ihenyen. 2009. Effects of salinity on germination, seedling establishment and yield of three genotypes of mungbean (*Vigna mungo* L. Hepper) in Edo State, Nigeria. *Nigerian Annals of Natural Sci.* 8(2):17–24.
- Mindari, W., Maroeto, dan Syekhiani. 2009. Ameliorasi Air salin menggunakan pupuk organik untuk meningkatkan produksi tanaman kedelai dan jagung dalam rotasi. *Penelitian Hibah Bersaing DP2M Dikti TA.* 2009. 37 hlm.
- Misra, N and A.K. Gupta. 2005. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Sci.* 169:331–339.
- Misra, N and U. N. Dwivedi. 2004. Genotypic in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Sci.* 166:1135–1142.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7:405–410.
- Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery and F.V. Breusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci.* 9:490–498.
- Mohamed, M. H and M. F. El-Kramany. 2005. Salinity tolerance of some mungbean varieties. *J. of Applied Sci. Res.* 1(10):78–84.
- Mudgal, V. 2004. Physiological studies on growth and nitrogen metabolism in *Cicer arietinum* L. under saline conditions. Ph.D. Thesis. Rohilkhand Univ., India.
- Mungala, A.J., T. Radhakrishnan and Jayanti R. Dobaria Junagadh. 2008. In vitro Screening of 123 Indian Peanut Cultivars for Sodium Chloride Induced Salinity Tolerance. *World J. of Agric. Sci.* 4 (5):574–582.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment.* 25:239–250.
- Munns, R and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol* 59:651–681.
- Munns, R., R. A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, 57:1025.
- Munns, R., S. Goyal and J. Passioura. 2004. Salinity stress and its mitigation. *Plant Stress Website*. Blum A. (ed). Available at <http://www.plantstress.com/Articles/index.asp>.
- Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diequez, J.L. Garcia-Hernandez, R. Lopez-Aquilar, N.Y. Avila-Serrano, S. Zamora-Salgado, E.O. Rueda-Puente and C. Kaya. 2006. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Sci. Hort.* 108:423–431.
- Naher N., Alam A.K.M.M. 2010. Germination, Growth and Nodulation of Mungbean (*Vigna radiata* L.) as Affected by Sodium Chloride. *Int. J. Crop Prod.* 5(2):8–11.
- Nawaz, K., H. Khalid, M. Abdul, K. Farah, A. Shahid and A. Kazim. 2010. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. review. *African J. of Biotech.* 9(34):5475–5480.
- Noctor, G., S.V. Jovanovic and C.H. Foyer. 2000. Peroxide processing in photosynthesis: Antioxidant coupling and redox signaling. *Phil. Trans. R. Soc.*, 355:1465–1475.
- Nosheen N.E., Saima M. Javed I.M., 2004. Growth and Nodulation of Mungbean (*Vigna radiata* [L.] Wilczek) as Affected by Sodium Chloride. *J. of Res. (Sci).* 15 (2):139–143.
- Ondrasek, G., D. Romic, Z. Rengel, M. Romic and M. Zovko. 2009. Cadmium accumulation by muskmelon under salt stress in contaminated organic soil. *Sci. Tot. Environ.* 407:2175–2182.
- Putra E.T.S., D. Indradewa. 2011. Perubahan Iklim dan Ketahanan Pangan Nasional. http://www.faperta.ugm.ac.id/dies/eka_prof_didik.php.
- Parida, A.K., A.B. Das and B. Mittra. 2004. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis

- and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees-Struct. Funct.* 18:167–174.
- Parida A.K. and Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60:324–349.
- Pessarakli M. and T.C. Tucker. 1988. Dry matter yield and nitrogen-15 uptake by tomatoes under sodium chloride stress. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 52:698–700.
- Pitzschke, A., C. Forzani and H. Hirt. 2006. Reactive oxygen species signaling in plants. *Antioxidants and Redox Signaling*. 8:1757–1764.
- Qadir M., Schubert S. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development*. 13:275–294.
- Quifu M.A. Murray A.F. 1993. Effects of SO₂ and salinity on nitrogenase activity, nitrogen concentration and growth of young soybean plants. *Env. and Exp. Bot.* 33:529–537.
- Queiroz, H.M., S. Ladaslavand R.B.H Claudia. 2012. Effect of Salt on the Growth and Metabolism of *Glycine max*. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 55(6):809–817.
- Rabie G.H., A.M. Almadini. 2005. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *Afr. J. of Biotech.* 4 (3):210–222.
- Rachman, A., I G.M. Subiksa, D. Erfandi, and P. Slavich. 2008. Dynamics of tsunami-affected soil properties. P 51–64. *In* F. Agus and G. Tinning (eds). *Proc. of Internat. Workshop on Post Tsunami Soil Management*.
- Rengasami, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. of Exper. Bot.* 57(5):1017–1023.
- Rhoades, J.D. and J. Loveday. 1992. Salinity in irrigated agriculture. pp. 1089–1142. B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds). *Irrigation of agricultural lands*. Agron. Mono. 30. Am. Soc. of Agron. Madison, Wisconsin.
- Rhodes D., P.J. Rich, D.G. Brunk, G.C. Ju, J.C. Rhodes, M. H. Pauly and L. A. Hansen 1989. Development of two isogenic sweet corn hybrids differing for glycine betaine content. *Plant Physiol.* 91:1112–1121.
- Rogers, M.E., C.M. Grieve and M.C. Shannon, 2003. Plant growth and ion relations in Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to the combined effects of NaCl and P. *Plant Soil*. 253:187–194.
- Romero-Aranda, R., T. Soria and S. Cuartero. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *PlantSci.* 160:265–272.
- Rozeff N., 1995. Sugarcane and salinity-A review paper. *Sugarcane*. 5:8–9.
- S.A. Water, 2007. Technical Guideline, General technical information for geotechnical design: Part K–Geotechnical SI Units System. South Australian Water Corporation. 4 pp.
- Serrano R., Mulet J.M., Rios G., Marquez J.A., de Larrinoa I.F., Leube M.P., Mendizabal I., Pascual-Ahuir A., Proft M., Ros R. and Montesinos C. 1999. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *J. Exp. Bot.* 50:1023–1036.
- Seelig, B.D. 2000. Salinity and Sodcity in North Dakota Soils. EB-57. North Dakota State Uni., Fargo, ND. 16 pp.
- Shannon, M.C and C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78:5–38.
- Singh, K.N. and R. Chatrath. 2001. Salinity tolerance. pp. 101–110. *In* P. Carillo *et al.* Salinity stress and salt tolerance. www.intechopen.com.
- Sonon, L.S., S. Uttam and E.K. David. 2012. Soil Salinity: Testing, Data Interpretation and Recommendations. Agric. and Environm. Services Labo. The Univ. of Georgia. 6 pp.
- Sotiropoulos, T. 2007. Effect of NaCl and CaCl₂ on growth and contents of minerals, chlorophyll, proline and sugars in the apple rootstock M4 cultured *in vitro*. *Bio. Plant.* 51:177–180.
- Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soil*. Oxford Univ. Press, New York. 321 pp.
- Stoeva, N. and K. Miroslava. 2008. Effect of Salt Stress on The Growth and Photosynthesis Rate of Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. of Cen. European Agric.* 9(3):385–392.
- Subagyono K., 2008. Kerusakan Lahan Pertanian Akibat Tsunami. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 24 hlm.
- Suganda, H., D. Setyorini, H. Kusnadi, I. Saripin, dan U. Kurnia. 2009. Evaluasi pencemaran limbah industri tekstil untuk kelestarian lahan sawah. Hlm. 203–221. *Dalam* U. Kurnia, F. Agus, D. Setyorini, dan A. Setiyanto (eds). *Pros. Sem. Nas. Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Sunarto, 2001. Toleransi kedelai terhadap tanah salin. *Bul. Agron.* 29(1):27–30.
- Surekha, K.A., P. Verslues and J. K. Zhu, 2005. Mechanisms of Salt Tolerance in Plants. *In* Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection. Li, C. J. (Ed). Tsinghua Univ. Press. China. 44–45.
- Tan, K.H., 2000. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker New York.
- Taufiq, A dan R.D. Purwaningrahyu. 2012. Tanggapan tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap cekaman salinitas. Laporan Teknis Balitkabi Tahun 2012. 23 hlm.
- Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91:503–527.

- Tonon, G., C. Kevers, O. Faivre-Rampant, M. Grazianil, and T. Gaspar. 2004. Effect of NaCl and mannitol iso-osmotic stresses on proline and free polyamine levels in embryogenic *Fraxinus angustifolia* callus. *J. Plant Physiol.* 161:701–708.
- Torres, M.A., and J.L Dangel. 2005. Functions of the respiratory burst oxidase in biotic interactions, abiotic stress and development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 8:397–403.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U. S. Dept. Agr. Handbook No. 60, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C. 159 pp.
- Valko M., C. J. Rhodes, J. Moncol, M. Izakovic and M. Mazur. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem. Biol. Interact.* 160:1–40.
- Van Hoorn J. W., N. Katerji, A. Hamdy, M. Mastrorilli. 2001. Effect of Salinity on Yield and Nitrogen Uptake of Four Grain Legumes and on Biological Nitrogen Contribution From The Soil. *Agric. Water Manag.* 51:87–98.
- Vinocur, B. and A. Altman. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Curr. Opin. Biotech.* 16:123–132.
- Vitoria, A.P., J. Peter, Lea and R.A. Azevedo. 2001. Antioxidant enzymes responses to cadmium in radish tissues. *Phytochem.* 57:701–710.
- Wang D., Shannon M.C., 1999. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant and Soil.* 214:117–124.
- Wanga D., M.C. Shannon and C.M. Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Res.* 69:267–277.
- Wang, W. X., B. Vinocur and A. Altaman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta.* 218:1–14.
- White P. J., Broadley M. R. 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany.* 88:967–988.
- Win K.T., A.Z. Oo, T. Hirasawa, T. Ookawa and H. Yutaka. 2011. Genetic analysis of Myanmar *Vigna* species in responses to salt stress at the seedling stage. *Afr. J. Biotechnol.* 10:1615–1624.
- Xiong L., Schumaker K.S., and Zhu J.K. 2002. Cell Signaling during Cold, Drought, and Salt Stress. *The Plant Cell Online.* 14(1):165–183.
- Yang, C.W., J. Chong, C. Kim, C.Y. Li, D.C. Shi and D.L Wang. 2007. Osmotic Adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions. *Plant Soil.* 294:263–276.
- Yadav S., Mohammad I., Aqil A., Shamsul H. 2011. Causes of Salinity and Plant Manifestations to Salt Stress: A review. *J. Environ. Biol.* 32:667–685.
- Yuniati R. 2004. Penapisan Galur Kedelai *Glycine max* (L.) Merrill Toleran Terhadap NaCl Untuk Penanaman di Lahan Salin. *Makara Sains.* 8(1):21–24.
- Zeng, L. and M. C. Shannon, 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Sci.* 40:996–1003.
- Zhifang G. and W.H. Loescher. 2003. Expression of a celery mannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. *Plant Cell Environ.* 26:275–283.
- Zhu, J.K. 2001. Plants salt tolerance. *Trends in Plant Sci.* 6:66–72.
- Zhu J. K. 2003. Regulation of Ion Homeostasis Under Salt Stress. *Curr. Opin. in Plant Biol.* 6:441–445.
- Zhu Z.J., Wei G.Q., Li J., Qian Q.Q., Yu J.Q. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.* 167:527–533.
- Zhu J.K. 2007. Plant Salt Stress. *Encyclopedia of Life Sciences* & 2007. John Wiley & Sons Ltd. www.els.net.